ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, AND MANAGEMENT



УДК 004.852 https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-325-331



Обзор нечетких задач маршрутизации транспорта

Ю. О. Чернышев [1], В. Н. Кубил[2], А. В. Требухин[1]
[1]ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)
[2]ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск, Российская Федерация)

Введение. Статья посвящена рассмотрению различных алгоритмов решения нечетких задач маршрутизации транспорта. Целью работы явилось исследование современных методов оптимального решения нечетких, случайных и грубых задач маршрутизации транспорта.
Материалы и методы. В работе проведен обзор нечетких задач маршрутизации транспорта, существующих методов и подходов их решения. Выделены наиболее эффективные особенности некоторых подходов к решению нечетких задач маршрутизации транспорта с учетом их специфики.
Результаты исследования. Нечеткая задача маршрутизации транспорта FVRP (Fuzzy Vehicle Routing Problem) возникает всякий раз, когда данные для маршрутизации расплывчаты, неясны или неоднозначны. Зачастую такие нечеткие элементы могут лучше отражать реальность. Однако очень сложно использовать алгоритмы решения детерминированных VRP (Vehicle Routing Problem) для решения FVRP, поскольку несколько фундаментальных свойств детерминированных задач больше не выполняются в FVRP. Поэтому для решения таких задач необходимо ввести новые модели и алгоритмы нечеткого программирования. Таким образом, использование методов теории нечетких множеств позволит успешно моделировать задачи, содержащие элементы неопределенности и субъективности.
Обсуждение и заключения. В результате проведенного обзора различных методов и подходов решения задач маршрутизации транспорта сделаны выводы о том, что разработка и исследование новых решений привлекает на сегодняшний день большое внимание исследователей, но степень проработанности различных вариантов различается. Методы оптимального решения нечетких задач маршрутизации транспорта ограничиваются, в основном, какой-то одной нечеткой переменной. Работ, которые рассматривают большее число нечетких переменных, существует очень ограниченное количество.

Ключевые слова: нечеткая задача маршрутизации транспорта, оптимизация, нечеткие методы, эвристические алгоритмы, гибридные алгоритмы.

Для цитирования: Чернышев, Ю. О. Обзор нечетких задач маршрутизации транспорта / Ю. О. Чернышев, В. Н. Кубил, А. В. Требухин // Advanced Engineering Research. — 2020. — Т. 20, № 3. — С. 325−331. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-325-331

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №18-01-00314, №19-01-00357).



Overview of fuzzy vehicle routing problems

Yu. O. Chernyshev[1], V. N. Kubil[2], A. V. Trebukhin[1]
[1]Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation
[2] Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russian Federation)

Introduction. Various algorithms for solving fuzzy vehicle routing problems are considered. The work objective was to study modern methods for the optimal solution to fuzzy, random and rough vehicle routing problems.
Materials and Methods. The paper reviews fuzzy vehicle routing problems, existing methods and approaches to their solution. The most effective features of some approaches to solving fuzzy vehicle routing problems considering their specificity, are highlighted.

Results. The Fuzzy Vehicle Routing Problem (FVRP) occurs whenever the routing data is vague, unclear, or ambiguous. In many cases, these fuzzy elements can better reflect reality. However, it is very difficult to use Vehicle Routing Problem (VRP) solving algorithms to solve FVRP since several fundamental properties of deterministic problems are no longer fulfilled in FVRP. Therefore, it is required to introduce new models and algorithms of fuzzy programming to solve such problems. Thus, the use of methods of the theory of fuzzy sets will provide successful simulation of the problems containing elements of uncertainty and subjectivity.

Discussion and conclusions. As a result of reviewing various methods and approaches to solving vehicle routing problems, it is concluded that the development and study of new solutions come into sharp focus of researchers nowadays, but the degree of elaboration of various options varies. Methods for the optimal solution of FVRP are limited, in general, to some single fuzzy variable. There is a very limited number of papers that consider a large number of fuzzy variables.

Keywords*:* fuzzy vehicle routing problem, optimization, fuzzy methods, heuristic algorithms, hybrid algorithms.

For citation: Yu. O. Chernyshev, V. N. Kubil, A. V. Trebukhin. Overview of fuzzy vehicle routing problems. Advanced Engineering Research, 2020, vol. 20, no. 3, p. 325−331. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-325-331

Funding information: the research is done with the financial support from RFFI (grants nos. 18-01-00314, 19-01-00357).

Введение. Задача маршрутизации транспорта — Vehicle Routing Problem (VRP) заключается в том, чтобы определить оптимальные маршруты для парка транспортных средств, представляющих упорядоченную последовательность прохождения через пункты погрузки и разгрузки, удовлетворяя некоторым ограничениям. К ограничениям следует отнести спрос на товары, грузоподъемность (вместимость) транспортного средства, максимальное время и временные окна. Оптимальность может оцениваться по-разному. Среди наиболее распространенных критериев минимизации: суммарное расстояние, стоимость транспортировки, размер задействованного парка транспортных средств.

С тех пор как VRP впервые была предложена Данцигом и Рамсером в 1959 году [1], она привлекла широкое внимание экспертов, ученых и менеджеров в различных сферах и стала предметом изучения в области исследования операций и оптимизации логистических систем. Было проведено значительное количество успешных исследований.

На начальном этапе большинство традиционных исследований VRP предполагали, что вся информация является детерминированной, включая спрос клиентов, характеристики парка транспортных средств, состояние дороги и прочие данные, необходимые для построения маршрутов. То есть традиционные исследования были посвящены детерминированным VRP. Однако в реальной логистической системе трудно описать информацию VRP как детерминированную из-за таких факторов, как влияние погоды, дорожных условий, скорости транспортного средства, индивидуальных потребностей клиента, а также когнитивных особенностей лиц, принимающих решения. Всякая неопределенность в таких задачах концентрируется на спросе, времени и др., позволяет классифицировать их как недетерминированные VRP. По сравнению с детерминированными, недетерминированные VRP отражают изменения времени и спроса, влияние назначений маршрутизации транспортных средств в реальном времени, что приближает их к фактическим производственным и логистическим процессам. Предлагавшиеся алгоритмы и выводы, справедливые для детерминированных задач, обычно не применялись для недетерминированных. Более того, в силу описанных выше особенностей, математическое описание недетерминированных задач является более сложным, а также возрастает сложность поиска возможных решений. Поэтому недетерминированные VRP привлекают все больше внимания и становятся одним из актуальных центров современных исследований VRP [2].

Определение и классификация недетерминированных задач маршрутизации транспорта. Недетерминированными являются такие VRP, в которых планировщик не владеет полной информацией о маршруте транспортного средства вплоть до начала осуществления заданного маршрута. То есть, некоторая информация может быть неопределенной, неоднозначной или даже неизвестной. После первоначального построения маршрута транспортного средства назначение маршрута транспортного средства и задание может быть изменено [3]. Очевидно, что недетерминированная VRP в этом смысле является более общей, чем детерминированная.

В смежных исследованиях неопределенность включает в себя три основных формы: случайность, нечеткость и неточность (грубость) [2]. В некоторых системах указанные выше неопределенности могут сосуществовать вместе. В настоящее время неопределенность VRP в основном вызвана случайностью и нечеткостью и может использовать нечеткую случайность или случайную нечеткость для описания сосуществования случайности и нечеткости в VRP.

С появлением многочисленных обобщений и расширений VRP ученые стали рассматривать их под разными ракурсами и классифицировать в соответствии с различными стандартами [4]. Опираясь на классификацию Цао [5] и выделенные формы неопределенности задач, можно разделить недетерминированные VRP на синглетные и двойные [6].

К синглетным недетерминированным VRP относятся:

— Stochastic VRP (SVRP) — случайная задача маршрутизации транспорта;
— Fuzzy VRP (FVRP) — нечеткая задача маршрутизации;
— Rough VRP — грубая задача маршрутизации транспорта.
— К двойным недетерминированным VRP относятся различные попарные комбинации синглетных:
— Fuzzyrandom VRP (FRVRP) — нечетко-случайная задача маршрутизации транспорта;
— Randomfuzzy VRP (RFVRP) — случайно-нечеткая задача маршрутизации транспорта;
— Fuzzyrough VRP — нечетко-грубая задача маршрутизации транспорта;
— Roughfuzzy VRP — грубо-нечеткая задача маршрутизации транспорта;
— Randomrough VRP — случайно-грубая задача маршрутизации транспорта;
— Roughrandom VRP — грубо-случайная задача маршрутизации транспорта;
— Dualfuzzy VRP — двойная нечеткая задача маршрутизации транспорта;
— Dualrandom VRP — двойная случайная задача маршрутизации транспорта;
— Dualrough VRP— двойная грубая задача маршрутизации транспорта.

Случайные задачи SVRP отличаются от детерминированных VRP тем, что некоторые исходные данные задачи не полностью определены до начала осуществления заданного маршрута транспортным средством. Планировщик может получить статистические закономерности для этих данных на основе предыдущих наблюдений или анализа рынка. То есть, некоторые параметры в SVRP являются случайными, главным образом такие, как спрос клиентов, время обслуживания клиентов (временные окна), распределение клиентов, доступные транспортные средства, время обслуживания, время в пути и т.д. Хороший обзор основных вариантов SVRP сделали Жандро и Лапорт [7]. В настоящее время исследование основных SVRP концентрируется на случайном спросе, случайном времени в пути, случайных клиентах и подобных задачах.

В нечетких задачах FVRP, как и в случайных задачах SVRP, присутствует неопределенность относительно некоторых данных задачи. Однако, если случайность предполагает существование некоторых известных статистических закономерностей, которые можно использовать, то нечеткость таковые закономерности исключает. Данный обзор сосредоточен именно на нечетких задачах маршрутизации транспорта, представляющих в настоящее время большой интерес для исследований.

Результаты исследования. Нечеткие задачи маршрутизации транспорта. Нечеткая задача маршрутизации транспорта FVRP возникает всякий раз, когда данные для маршрутизации расплывчаты, неясны или неоднозначны. Например, когда, исходя из опыта, время в пути транспортного средства можно описать как «около получаса», «между 15 и 20 минутами» и так далее. Зачастую, такие нечеткие элементы могут лучше отражать реальность. На практике бывает трудно получить точные значения запросов, времени пути, количества и местоположения клиентов, границ временных окон и других величин, если они подчиняются вероятностным законам. В некоторых новых системах также сложно описать параметры задачи как случайные величины из-за недостаточности данных для анализа распределения. Однако очень сложно использовать алгоритмы решения детерминированных VRP для решения FVRP, поскольку несколько фундаментальных свойств детерминированных задач больше не выполняются в FVRP. Поэтому, для решения таких задач необходимо ввести новые модели и алгоритмы нечеткого программирования. Таким образом, использование методов теории нечетких множеств позволит успешно моделировать задачи, содержащие элементы неопределенности и субъективности.

Схема решения: необходимо сначала сделать информацию нечеткой, затем использовать идею нечетких рассуждений для построения определенных нечетких критериев и преобразовать нечеткие переменные в их четкие эквиваленты с помощью дефаззификации. В настоящее время исследования FVRP в основном сосредоточены на нечетком спросе, нечетких временных окнах, нечетком времени в пути и нечетком времени обслуживания.

VRP with fuzzy demands (VRPFD) — задача маршрутизации транспорта с нечетким спросом клиентов на товар. VRPFD предполагает, что клиенты, которые нуждаются в обслуживании, определены, но их точный спрос является неопределенным, и статистическое правило их спроса не может быть получено. Нет сомнений в том, что VRPFD является наиболее изученной областью FVRP. Предположительно, что самое раннее описание VRPFD было предложено Теодоровичем в 1996 году [8]. Теодорович изучил VRPFD с одним депо, разработал правила нечеткого решения, основанные на оценке склонности, предложил первую фазу решения, основанную

на эвристическом алгоритме заметания, затем на основе сгенерированного решения осуществлял его постепенное улучшение, оптимизируя маршруты. С тех пор несколько ученых с некоторым успехом использовали различные эвристики для решения YRPFD. На основе нечеткой возможности [3, 9–13], бинарных подходов [14] и нечеткой достоверности [15] они применили улучшенный эвристический алгоритм или гибридный эвристический алгоритм для решения VRPFD. Наиболее широко используемый алгоритм — модифицированный гибридный генетический алгоритм [9–11]. Кроме того, для решения такого рода задач были применены и другие алгоритмы [3, 12–14, 15], такие как модифицированный муравьиный алгоритм, гибридный дифференциальный эволюционный алгоритм и улучшенная оптимизация роя частиц.

VRP with fuzzy time windows (VRPFTW) — задача маршрутизации транспорта с нечеткими временными окнами. VRPFTW является аналогом |задачи маршрутизации транспорта с мягкими временными окнами. В нём нарушение временных окон не обязательно влечет за собой штрафные санкции, но есть некоторая неопределенность относительно долгосрочных последствий за качество обслуживания. Для этого нечетким обычно считается либо время прибытия, либо верхние и нижние границы временных окон. Ван [16] впервые применил такую нечеткую теорию на примере задачи коммивояжера — инспекция дорог (китайского почтальона) с временными окнами. Тан и др. [17] предложили математическую модель VRPFTW и метод ее решения в два этапа: сведение к традиционной VRP с временными окнами и ее решение, а затем решение задачи улучшения обслуживания на основе алгоритма Гомори и метода субградиентов. Для комплексного варианта VRPFTW с множеством депо и разнородным парком предлагалась многоэтапная эвристика [18]: кластеризация клиентов, маршрутизация, определение типов транспортных средств, планирование и улучшение маршрутов с использованием имитации отжига и повышения уровня обслуживания клиентов. Хорошие результаты также показали метод оптимизации роем частиц [19] и модифицированный алгоритм стаи волков [20].

VRP with fuzzy duetime (VRPFDT) — задача маршрутизации транспорта с нечетким временем посещения. VRPFDT отличается тем, что временные окна заменяются нечеткими сроками. Связано это с тем, что временные окна в детерминированной VRP не могут отражать предпочтения клиентов в реальном времени. Например, клиенты могут желать получить услугу в определенные моменты времени, их удовлетворение может снизиться, если услуга предлагается раньше времени или с опозданием. Отсюда и возникает нечеткое время для посещения. Ченг и др. [21] впервые предложили понятие VRPFDT в м 1995 году и построили модель VRP в условиях однократного вывоза или однократной доставки, предложили усовершенствованный гибридный генетический алгоритм для решения такой модели VRP, используя процедуры «push-bump-throw». После этого Теодорович [22] исследовал нечеткую динамическую задачу построения маршрутов между соответствующими пунктами вывоза и доставки (Dial-A-RideProblem) и дополнительно проанализировал VRP с нечетким временем посещения и нечетким временем пути. Кроме того, другие методы, такие как эвристический алгоритм вставки, модифицированный муравьиный алгоритм, генетический алгоритм и так далее, играют важную роль в решении VRPFDT [23, 24].

VRP withfuzzytraveltime (VRPFT) — задача маршрутизации транспорта с нечетким временем пути. В VRPFT время пути транспортного средства при назначении ему маршрута является нечетким, в то время как другие параметры заданы и являются детерминированными. В настоящее время исследования по VRPFT достаточно скудные и включают всего несколько публикаций. Теодорович впервые ввел нечеткую теорию в VRPFT в 1991 году [25], предположив, что времена перемещения между пунктами являются нечеткими переменными. Он построил модель VRPFT и предложил алгоритм Кларка-Райта для ее решения. На основании нечеткой возможности и достоверности, Чен [26] и Чжэн [27] изучили VRPFT с временными окнами и предложили алгоритм империалистической конкуренции и гибридный генетический алгоритм. Цзя [28] использовал генетический алгоритм для решения VRPFT, основанный на методе измерения I_L. Брито [29] и Чжан [30] разработали гибридный генетический алгоритм для решения VRPFT на основе нечеткой логики.

VRP withfuzzyservicetime (VRPFST) - задача маршрутизации транспорта с нечетким временем обслуживания. VRPFST возникает в компаниях, которые не располагают точной информацией о времени обслуживания, необходимом для каждого поступающего заказа. Тем не менее, принятые решения должны учитывать предполагаемое время обслуживания и имеющиеся ресурсы, включая рабочие часы и количество доступных транспортных средств. Для динамического варианта этой задачи Куо и др. [31] успешно применили нечеткий муравьиный алгоритм со встроенной процедурой кластерной вставки.

Кроме того, в некоторых литературных источниках исследовались VRP с нечеткими стоимостными коэффициентами [32], VRP с нечеткими временными окнами [33], VRP с одновременно нечетким временем пути и временем посещения [22, 34], и VRP с нечетким временем в пути и временем посещения [35], и так далее.

В последние годы, в силу обеспокоенности мирового сообщества проблемами экологии, набирает популярность направление зеленой транспортной логистики [36], в рамках которого возникла зеленая задача маршрутизации транспорта -green VRP [37], призванная найти баланс между экономической выгодой и последствиями для окружающей среды. Для нечеткого варианта такой задачи недавно был предложен гибридный генетический алгоритм, совмещенный с нечетким моделированием [38].

Обсуждение и заключения. Основываясь на представленном в обзоре материале можно сделать вывод о том, что исследование нечетких задач маршрутизации транспорта привлекает все большее внимание, но степень разработанности отдельных ее вариантов разнится. Следует отметить, что на сегодняшний день исследования FVRP в основном ограничиваются какой-то одной нечеткой переменной, такой как нечеткий спрос или нечеткое время посещения клиентов. Исследований, рассматривающих всесторонне большее число нечетких переменных, сравнительно мало [22, 34, 35]. Другая существующая проблема заключается в том, что роль опыта предприятия-распределителя в FVRP редко учитывается, из-за чего практическая применимость незначительна. Для устранения разрыва между теоретическими исследованиями и практическим применением необходимо усилить комплексные исследования. Также открытыми остаются вопросы сочетания этих исследований с некоторыми новыми технологиями, такими как электронная коммерция, Интернет вещей и большие данные. Кроме того, до сих пор не построена система оценки алгоритмов решения FVRP.

Библиографический список

1. Dantzig, G.B. The Truck Dispatching Problem / G.B. Dantzig, J.H. Ramser // Management science. — 1959. — Vol. 6, no. 1. — P. 80−91.

2. Liu, B. Uncertain programming with applications / B. Liu, R. Zhao, G. Wang // Beijing: Chinese Tsinghua University Press, 2003. — P. 52−43.

3. Erbao, C. The Open Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands / C. Erbao, L. Mingyong // Expert Systems with Applications. — 2010. — Vol. 37, no. 3. — P. 2405−2411.

4. Кубил, В. Н. Обзор обобщений и расширений задачи маршрутизации транспорта / В. Н. Кубил // Вестник РГУПС. — 2018. — № 2. — С. 97–109.

5. Erbao, C. Research on Vehicle Routing Problems Models and Algorithms of Logistics Distribution, Ph.D. thesis / C. Erbao. — China: Hunan University, 2008. — P. 89−92.

6. Chen, D. Nondeterministic Vehicle Routing Problem: A Review / D. Chen, D. Chen, Y. Yang // Advances in Information Sciences and Service Sciences. — 2013. —Vol. 5, no. 9. — P. 485−493.

7. Gendreau, M. Stochastic vehicle routing / M. Gendreau, G. Laporte, R. Séguin //European Journal of Operational Research. — 1996. — Vol. 88, no. 1. — P. 3−12.

8. Teodorović, D. The fuzzy set theory approach to the vehicle routing problem when demand at nodes is uncertain / D. Teodorović, G. Pavković // Fuzzy sets and systems. — 1996. — Vol. 82, no. 3 — P. 307−317.

9. Zhang, J. A hybrid genetic algorithm to fuzzy vehicle routing problem / J. Zhang, J. Li // Journal of Industrial Engineering. — 2005. — P. 23-26. DOI: 10.1109/FSKD.2014.6980823

10. Xu, J. Genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows and fuzzy demand / J. Xu, G. Goncalves, T. Hsu // IEEE Congress on Evolutionary Computation. — 2008. — P. 4125−4129. DOI: 10.1109/CEC.2008.4631360

11. Ye, X. A fuzzy vehicle routing assignment model with connection network based on priority-based genetic algorithm / X. Ye, J. Xu // World Journal of Modelling and Simulation. — 2008. — Vol. 4, no. 4. — P. 257−268.

12. Peng, Y. A particle swarm optimization to vehicle routing problem with fuzzy demands / Y. Peng, Y. Qian // Journal of Convergence Information Technology. — 2010. — Vol. 5, no. 6. — P. 112−119.

13. Tian, J. Emergency supplies distributing and vehicle routes programming based on particle swarm optimization / J. Tian, W.Z. Ma, Y.L. Wang [et al.] // Systems Engineering-Theory & Practice. — 2002. — Vol. 30, no. 5. — P. 898−906.

14. Chen, B. Vehicle routing problem with fuzzy demands and its heuristic ant colony algorithm / B. Chen, S. Song, X. Chen // Journal of Computer Applications. — 2006. — Vol. 11. — P. 25−35.

15. Erbao, C. A hybrid differential evolution algorithm to vehicle routing problem with fuzzy demands / C. Erbao, L. Mingyong // Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 231, No. 1, 2009. pp. 302−310.

16. Wang, H.F. Time-constrained Chinese postman problems / H.F. Wang, Y.P. Wen// Comput. Math. Appl. — 2002. — Vol. 44. — P. 375−387.

17. Tang, J. Vehicle routing problem with fuzzy time windows / J.Tang, Z. Pan, R.Y. Fung [et al.] // Fuzzy Sets and Systems. — 2009. — Vol. 160, no. 5. — P. 683−695.

18. Adelzadeh, M. A mathematical model and a solving procedure for multi-depot vehicle routing problem with fuzzy time window and heterogeneous vehicle / M. Adelzadeh, V.M. Asl, M. Koosha // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2014. — Vol. 75, no. 5-8. — P. 793−802.

19. Yan, F. Modeling and solving the vehicle routing problem with multiple fuzzy time windows / F. Yan, Y. Wang // International Conference on Management Science and Engineering Management. Springer, Cham, 2017. — P. 847−857.

20. Cao, Q.K. Vehicle bonk routing optimization with multiple fuzzy time windows based on improved wolf pack algorithm / Q. K. Cao, K. W. Yang, X. Y. Ren // Advances in Production Engineering & Management. — 2017. — Vol. 12, no. 4. — P. 401−411. DOI: 10.14743/apem2017.4.267

21. Cheng, R. Vehicle routing problem with fuzzy due-time using genetic algorithms / R. Cheng, M. Gen, T. Tozawa // Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems. — 1995. — Vol. 7, no. 5. — P. 1050−1061.

22. Teodorovic, D. A fuzzy logic approach to dynamic dial-a-ride problem / D. Teodorovic, G. Radivojevic // Fuzzy sets and systems. — 2000. — Vol. 116, no. 1. — P. 23−33.

23. Zhang, J. Insertion heuristic algorithm for dynamic vehicle routing problem with fuzzy due-time / J. Zhang, J. Li, Y. Guo // Journal of Southwest Jiaotong University. — 2008. — Vol. 43, no. 1. — P. 107−113.

24. Gendreau, M. Metaheuristics for the vehicle routing problem and its extensions: A categorized bibliography / M. Gendreau, J.Y. Potvin, O. Bräumlaysy [et al.] // In: The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges. Springer US. — 2008. — Vol. 43. — P. 143−169.

25. Teodorović, D. Application of fuzzy sets theory to the saving based vehicle routing algorithm / D. Teodorović, S. Kikuchi // Civil Engineering Systems. — 1991. — Vol. 8, no. 2. — P. 87−93.

26. Chen, J. A new algorithm for a fuzzy vehicle routing and scheduling problem: imperialist competitive algorithm / J. Chen, Y. Zhang, G. Wang // JCIT: Journal of Convergence Information Technology. — 2011. — Vol. 6, no. 7. — P. 303−311.

27. Zheng, Y. Fuzzy vehicle routing model with credibility measure and its hybrid intelligent algorithm / Y. Zheng, B. Liu // Applied mathematics and computation. — 2006. — Vol. 176, no. 2. — P. 673−683.

28. Jia, J. Genetic algorithm for fuzzy logistics distribution vehicle routing problem / J. Jia, N. Liu, R. Wang // IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics. — 2008. — Vol. 1. — P. 1427−1432.

29. Brito, J. Fuzzy approach for vehicle routing problems with fuzzy travel time / J. Brito, F.J. Martinez, J.A. Moreno [et al.] // IEEE International Conference on Fuzzy Systems. — 2010. — P. 1−8.

30. Zhang, J. A hybrid genetic algorithm to the vehicle routing problem with fuzzy cost coefficients / J. Zhang, J. Li // IEEE 11th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). — 2014. — P. 147−152.

31. Kuo, R. J. Application of a fuzzy ant colony system to solve the dynamic vehicle routing problem with uncertain service time / R. J. Kuo, B. S. Wibowo, F. E. Zulvia // Applied Mathematical Modelling. — 2016. — Vol. 40, no. 23−24. — P. 9990−10001.

32. Zhang, J. Modified Clark-Wright Algorithm for Vehicle Scheduling Problem with Fuzzy Cost Coefficients / J. Zhang, J. Li, Y. Guo // Journal of Southwest Jiaotong University. — 2008. — Vol. 39, no. 6. — P. 281−284.

33. Tang, J. Vehicle routing problem with fuzzy time windows / J. Tang, Z. Pan, R. Y. Fung [et al.] // Fuzzy Sets and Systems. — 2009. — Vol. 160, no. 5. — P. 683−695.

34. Lu, L. Study Dynamic vehicle scheduling problem model under fuzzy information / L. Lu, Q. Tan // Chinese Journal of Management Science. — 2006. — Iss. z1. — P. 156−160.

35. Jiang, Z. Research on Bi-objective fuzzy programming model and algorithm of logistics distribution vehicle routing problem / Z. Jiang, Y. Sheng, D. Wang [et al.] // Chinese Journal of Enterprise Operation Research. — 2008. — No. 1. — P. 19−27.

36. Абрамова, И. О. Зеленая транспортная логистика как инструмент совершенствования хозяйственной деятельности транспортных компаний / И. О. Абрамова, М. Ш. Муртазина. // Вестник евразийской науки. — 2018. — Т. 10, № 3. — С. 2–12.

37. Erdoğan, S. A green vehicle routing problem / S. Erdoğan, E. Miller-Hooks // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. — 2012. — Vol. 48, no. 1. — P. 100−114.

38. Wang, R. Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm / R. Wang, J. Zhou, X. Yi [et al.] // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. — 2019. — Vol. 10, no. 1. — P. 321−332.

Сдана в редакцию 16.04.2020
Запланирована в номер 10.07.2020

Об авторах:

Чернышев Юрий Олегович, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4901-1101, treandrik@yandex.ru

Кубил Виктор Николаевич, ассистент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова», (346428, РФ, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), ResearcherID: AAB-8676-2020, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4364-4135, treandrik@yandex.ru

Требухин Андрей Владимирович, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6673-706X , treandrik@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Ю. О. Чернышев — научное руководство, формулирование основной концепции исследования и структуры статьи. В. Н. Кубил — сбор и анализ литературных данных, критический анализ. А. В. Требухин — литературный анализ, участие в исследовании, редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.